Centre Universitaire de Maghnia-Tlemcen
M[elle] CHAREB-YSSAAD Ismahane

Technologie de base

Licence 2 : Hydraulique

ismahane4@yahoo.fr

ismahane.charebyssaad@mail.univ-tlemcen.dz

TECHNOLOGIE DE BASE

Chapitre 4
Adduction d'eau potable

Chapitre 4
Adduction d'eau potable

Sommaire

Adduction d'eau potable :

Une adduction est une conduite reliant les ouvrages de production au(x) réservoir(s) de stockage. On distingue :

- Adduction gravitaire
- Adduction par refoulement.

1. **Cas d'une adduction gravitaire :**

Etude du tracé : On peut distinguer : Les parcours ou tracés obligés

- Tracés « obligés » : Les tracés « obligatoires » sont imposés par la nécessité de suivre le tracé du réseau de la voirie ou des accotements des routes.
- Dans le cas contraire, limiter le passage par des terrains privés (pour minimiser l'expropriation).

2. **Cas d'une adduction par refoulement :**

Transports intermédiaires Exemple : Station de pompage - Réservoir

L'emplacement du ou des réservoirs étant fixé (en fonction de l'altitude des zones à desservir), Le tracé à adopter doit :

- Etre le plus court possible pour réduire les frais de premier établissement (Station de pompage)
- Eviter la multiplicité des ouvrages coûteux ou fragiles (traversées de rivières, de canaux ou de routes importantes,…) ' Eviter la traversée de propriétés privées nécessitant des expropriations.
- Suivre les voies publiques qui présentent les avantages suivants :
  - ✓ Travaux de terrassement et d'approvisionnement de tuyaux souvent moins onéreux
  - ✓ Accès facile aux regards contenant les appareils de robinetterie et aux canalisations pour les réparations

❖ **Profil en long :** Les impératifs du profil en long sont :

- **Profondeur :** Les canalisations sont posées en tranchée avec une hauteur de couverture minimale de 0.80m au dessus de la génératrice supérieure.
- **Pente :** En principe, les montées sont lentes (pente minimale de 3 pour mille) et les descentes sont rapides (pente minimale de 5 pour mille) afin de pouvoir éliminer facilement les bulles d'air en les accumulant dans les points hauts.
- **Equipement points hauts :** Les points hauts doivent être équipés de ventouses pour libérer les canalisations des bulles d'air emprisonnées.
- **Equipement des points bas :** Les points bas sont à équiper de robinets vannes de vidange pour la vidange des conduites au moment d'éventuelles réparations.

Figure (IV-1) : Profil schématique à substituer à une pose horizontale

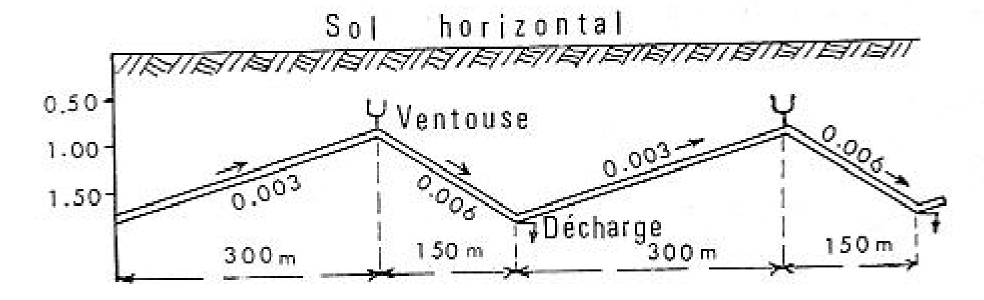
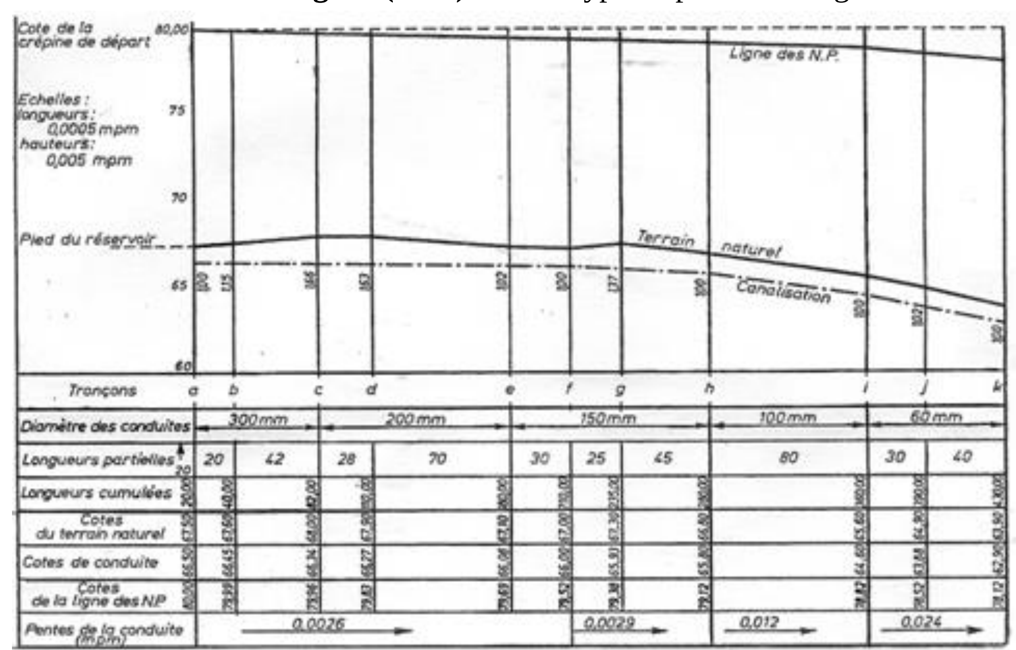
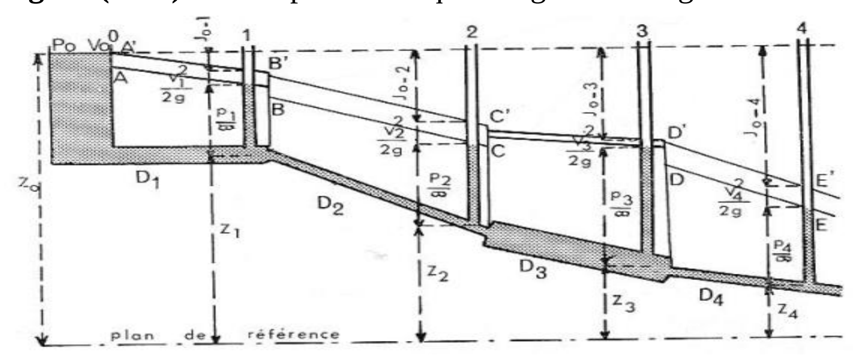


Figure (IV-2) : Profil type de profil en long



V.1 Concepts fondamentaux de l'équation de Bernoulli

Figure (IV-2) : Profil piézométrique et ligne de charge



L'équation de Bernoulli entre la section (1) et la section (2) est donnée par :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho.g} + \frac{V_1^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho.g} + \frac{V_2^2}{2.g} + J_{12}$$

Zi : Energie potentielle

$\frac{P_i}{\rho\, g}$: Energie due à la pression

$\frac{V^{\,2}}{\rho\, g}$: Energie due à la vitesse

J_{12} : Pertes de charge entre la section 1 et 2

V.2 Viscosité des fluides

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

1. La viscosité dynamique

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \Rightarrow \mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} = \frac{Force}{Surface} \Big/ \frac{Vitesse}{Dis\tan ce} = \frac{ForcexTemps}{Surface} = N.s.m^{-2} = kg.m^{-1}.s^{-1}$$

Eau : μ = 1,14 x 10^{-3} $kg.m^{-1}.s^{-1}$

2. La viscosité cinématique

Elle représente le rapport entre la viscosité dynamique et la masse spécifique d'un fluide :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{m2}{s}$$

Eau : ν = 1,14 x 10^{-6} $m^2.s^{-1}$

V.3 Régimes d'écoulement

En utilisant des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un **nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds** et donné par :

$$R_e = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{\rho VD}{\mu}$$

V : Vitesse moyenne d'écoulement = Q/A

D : Diamètre de la section d'écoulement (circulaire)

ν : Viscosité cinématique du fluide = μ/ρ

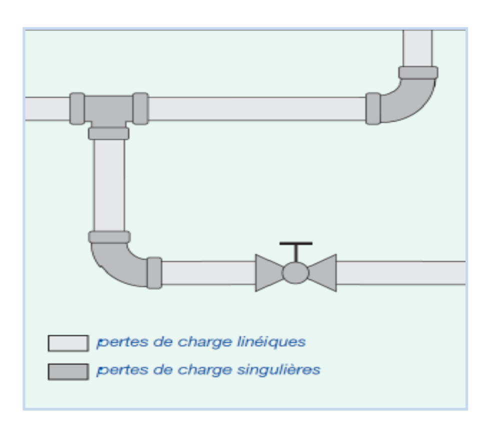
μ : viscosité dynamique du fluide

- Si Re < 2000 : le régime est LAMINAIRE
- Si 2000 < Re< 3000 : le régime est intermédiaire
- Si Re > 3000 : le régime est TURBULENT

V.4 Pertes de charges

Un **fluide réel**, en **mouvement**, subit des **pertes d'énergie** dues aux frottements sur les parois de la canalisation (pertes de charge *systématiques*) ou sur les "accidents" de parcours (pertes de charge *singulières*). Les pertes de charge peuvent être :

- **Linéaires** : elles correspondent alors à l'écoulement le long des conduites.
- **Singulières** : elles se manifestent sur les pièces spéciales qui modifient la direction ou la section de passage du fluide (raccord, T, vannes, soupapes, etc.).



Il est fondamental de savoir les calculer :

- Pour dimensionner les conduites d'écoulement.
- Pour calculer les caractéristiques des pompes et ventilateurs qui provoquent et/ou maintiennent l'écoulement des fluides.

1. Pertes de charge linéaires : Elles dépendent de :

- Du type d'écoulement, donc du **nombre de Reynolds .**
- De la **rugosité** interne de la conduite :



La rugosité absolue représente l'épaisseur moyenne des aspérités de surface du matériau composant de la conduite. On la note **ε**, l'en exprime le plus souvent en millimètres. Pour une conduite de **diamètre D** donné, on appelle **rugosité relative** le rapport **ε/D.**

La perte de charge sera traduite par une équation empirique du type :

$$\Delta H = \lambda \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \qquad et \qquad J = \frac{\Delta H}{L} = \frac{\lambda}{D}\frac{V^2}{2g}$$

λ : Coefficient de perte de charge. Il est sans dimension et est fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité de la paroi (coefficient de frottement ou coefficient de friction de la conduite)

L : la longueur de la conduite

D : Diamètre de la conduite

V : la vitesse moyenne

J : perte de charge par unité de longueur.

- **En régime laminaire Re < 2000 :**

  En régime laminaire, seules les forces de viscosité interviennent. La vitesse est très faible et l'état de surface de la paroi n'intervient pas dans le calcul du coefficient λ. On détermine ainsi :

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- **Ecoulement turbulent Re > 3000 :**

  Pour un écoulement turbulent, l'équation empirique de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2log10\left[\frac{\varepsilon/_D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right]$$

Cette relation implicite est difficile à exploiter analytiquement et est le plus souvent représentée sur un graphique.

2. Les pertes de charge singulière

Comme pour les pertes de charge linéaire, les pertes de charges singulières se traduisent par la relation :

$$\Delta H = K\,\frac{V^2}{2g}$$

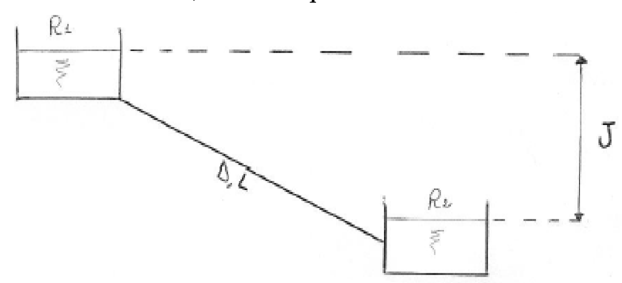
K : est fonction des caractéristiques géométriques (coefficient dépendant de la forme de la singularité) et du nombre de Reynolds

V.5 Choix du diamètre économique

1. Adduction gravitaire

Pour le calcul du diamètre d'une conduite d'adduction, on sait que :

$$Q = V\,S = \frac{\pi\,D^2}{4}\,V$$



$$j = \frac{C\,Q^2}{D^5} \qquad avec \qquad C = \frac{8\,\lambda}{\pi^2}$$

Q est connu, On cherche D.

Il y a 2 équations et 3 inconnues (j, V, D)

- La solution consiste à se fixer l'un des paramètres j ou V et trouver D.
- Il faut ensuite vérifier que la valeur du paramètre non utilisé est acceptable.
- Il faut aussi éviter des vitesse situées en dehors de l'intervalle [0,5 ; 2m/s],car :
  - V< 0,5 m/s ; risque de dépôt et acheminement de l'air difficile vers les points hauts.
  - V> 2 m/s ; accroissement du risque de dégradation de la conduite et du coup de bélier.

<u>1ier cas : j fixé:</u>

On connaît : j =J/L et le débit Q

La détermination du diamètre nécessite le calcul de par la formule de Colebrook: à l'aide des tables ou abaques, on détermine le diamètre D et on calcule la vitesse.

- On peut aussi calculer D en utilisant les formules simplifiées de calcul des pertes de charge (Exemple : formule de Scimemi). La formule de Scimemi pour l'acier est :

$$Q = 36{,}4.D^{2,59}.j^{0,55}$$

- Il faut également vérifier que V<Vmax (=2m/s)

<u>2ème cas : V fixée:</u>

Si Q est connu et V fixé, d'où : $D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$

Avec Q et D connus, on obtient j à l'aide de la formule et les pertes de charges linéaires :

J=j x L

- Si l'emplacement du réservoir R1 est connu, il faut vérifier si l'emplacement du réservoir R2 est compatible avec la topographie des lieux.

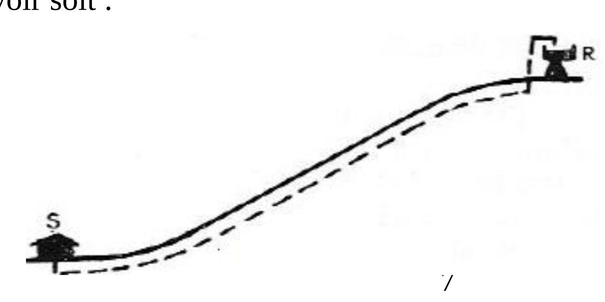
2. Adduction par refoulement

1. Tracé

Le pompage a pour but d'élever l'eau du captage (ou d'un réservoir bas) et de la refouler dans l'adduction qui va vers un réservoir haut. On peut avoir soit :

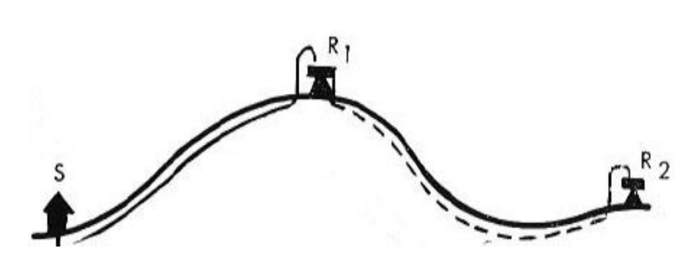
- **Refoulement direct :**

Le tracé idéal est celui qui correspond à une rampe régulière de la station de pompage vers le réservoir. Des cantonnements d'air sont à craindre dans le cas contraire au droit des points hauts



- ❖ **Adduction mixte refoulement-gravitaire :**

Dans certains cas, la topographie des lieux imposera une adduction mixte refoulement-gravitaire. Un réservoir intermédiaire recevra l'eau provenant de la conduite de refoulement. L'eau s'écoulera ensuite par gravité.



2. **Diamètre économique de la conduite de refoulement**

Deux éléments principaux entrent en considération lors du calcul économique :

- ❖ L'investissement : Le prix de canalisation, y compris le transport, la pose, le terrassement…
- ❖ Les frais d'exploitation et de maintenance.

L'investissement des conduites augmente avec le diamètre mais le prix de la pompe et des frais d'exploitation diminuent avec le diamètre (à cause des faibles pertes d'énergie), donc un compromis technico-économique doit exister.

La puissance absorbée par le moteur (Pam) est proportionnelle à la hauteur manométrique totale Hmt avec :

Hmt = Hg + Ja + Jr

Hg : Hauteur géométrique
Ja : Pdc d'aspiration
Jr : Pdc de refoulement

$$J_r = \frac{\lambda . V^2}{2.g} \cdot \frac{L}{D} \quad \textbf{Et} \quad V = \frac{Q}{\frac{\pi . D^2}{4}} \quad \Longrightarrow \quad J_r = \frac{C.Q^2.L}{D^5}$$

- Généralement si la longueur de la conduite de refoulement L est grande , Jr est grande. Pour L donnée et :
  D grand ⟹ Jr diminue
  D petit ⟹ Jr augmente

D'où **: Hmt (D grand) < Hmt (D petit)**

⟹ **Pam (D grand) < Pam (D petit);** Pam : puissance absorbée par moteur

⟹ Frais d'exploitation (énergie) pour D grand < Frais d'exploitation (énergie) pour D petit

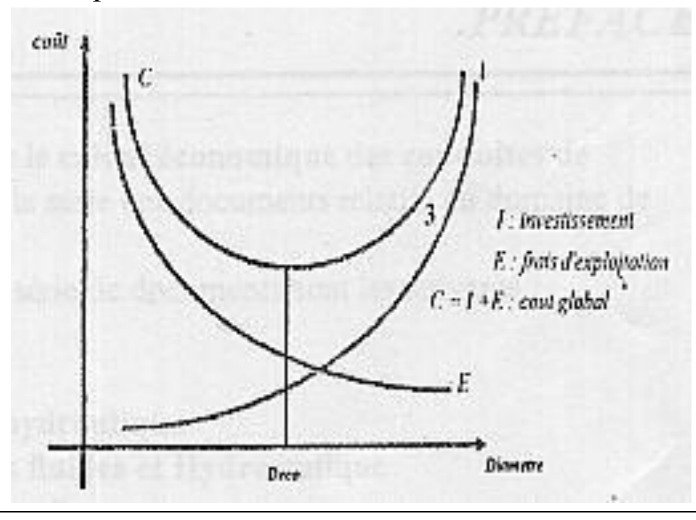
- Si on combine aux frais d'exploitation (coût d'énergie) les frais d'investissement de la conduite (FI D grand > FI D petit), on doit chercher le diamètre optimal. On voit que :
- Si on choisit un grand diamètre, le prix Pc de la conduite sera élevé mais Jr sera réduit et donc la puissance du groupe sera faible : On économisera donc sur le prix Pe de l'électricité et le prix Pg du groupe.
- Si on adopte un petit diamètre, Pc sera plus petit mais Pg et Pe seront plus élevés.
  - ➢ Donc on voit quil doit exister un compromis économique correspondant à un diamètre optimal résultant du compromis entre les deux tendances suivantes :
    1. Les frais d'amortissement (Ia) qui augmentent avec le diamètre.
    2. Les frais d'exploitation (Ie) qui diminuent avec le diamètre par suite de la diminution des pertes de charge.

Donc on voit quil doit exister un compromis économique correspondant à un diamètre optimal résultant du compromis entre les deux tendances suivantes :

Les frais d'amortissement (Ia) qui augmentent avec le diamètre.

Les frais d'exploitation (Ie) qui diminuent avec le diamètre par suite de la diminution des pertes de charge.

L'optimum est obtenu pour It=Ia + Ie minimum.



Méthodes simplifiées pour le calcul du diamètre économique de la conduite de refoulement

- **<u>1ère méthode : formule de Bresse :</u>**

$$De = 1{,}5.\sqrt{Q}$$
$$(m) \qquad (m3/s)$$

Cette formule conduit à une faible vitesse, on adopte : $De(m) = \sqrt{Q}(m^3/s)$

- **<u>2ème méthode : formule de Vibert :</u>**

$$De = k.\left(\frac{e}{f}\right)^{0{,}154}.Q^{0{,}46}$$

k : Coefficient dépendant du nombre d'heures de marche du groupe, de la durée d'amortissement et du taux d'intérêt de l'investissement.

- Pour une marche de 24h/24 et pour une durée d'amortissement de la canalisation de refoulement de 50 ans à un taux d'intérêt de 8% ; **k=1,456**
- Pour une marche de 10h/24 et une durée d'amortissement de la Canalisation de 50 ans à 8 % ; **k =1,27.**

e/f : Rapport du prix du Kwh au prix du kg de conduite.

Q : Débit refoulé en m3/s.

- **<u>3ème méthode : formule de Munier</u>**

$$De = (1 + 0{,}02.n).\sqrt{Q}$$

n : Nombre d'heures de pompage par jour

Q : Débit refoulé en m3/s